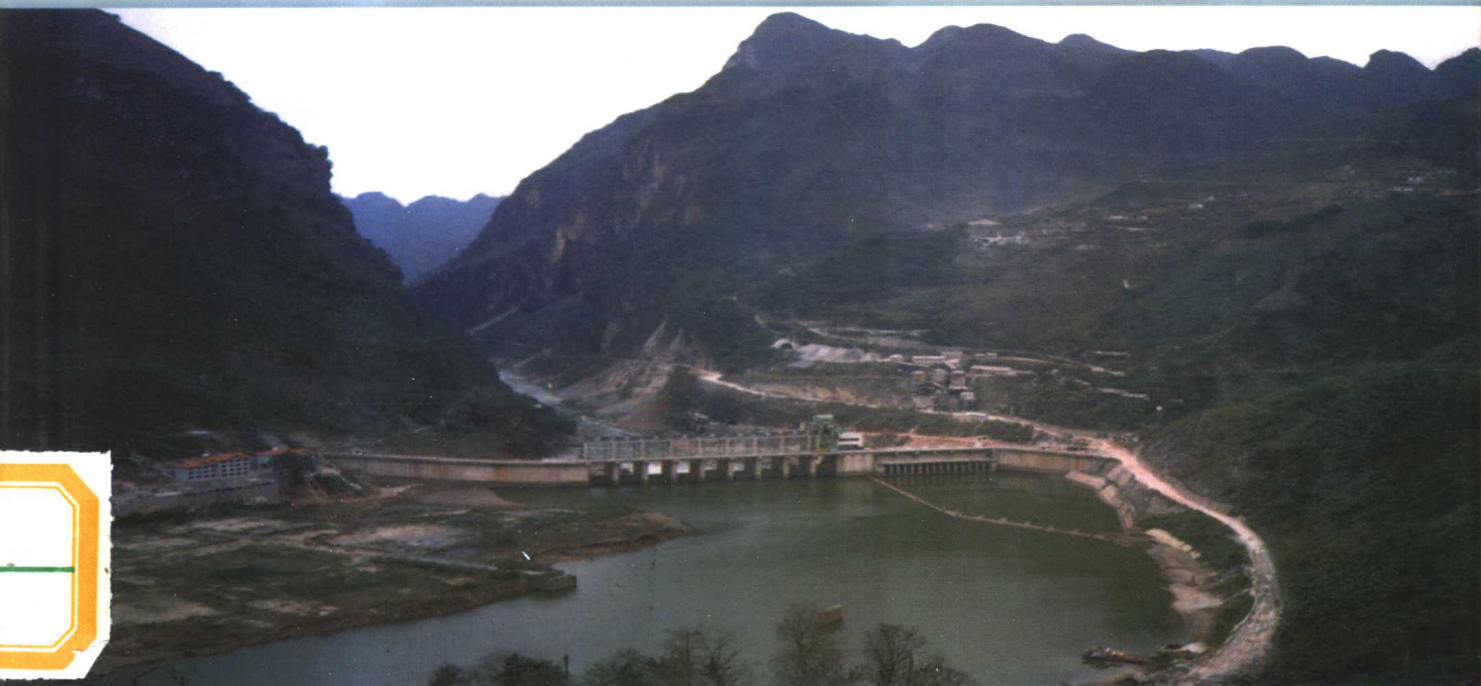


引水防沙 与 河床演变

梁志勇 徐永年 罗福安
刘玉忠 李 明 编著



中国建材工业出版社

引水防沙与河床演变

梁志勇 徐永年 罗福安

刘玉忠 李 明 编著

中国建材工业出版社

1999

图书在版编目 (CIP) 数据

引水防沙与河床演变/梁志勇等编著. —北京: 中国建材工业出版社, 2000
ISBN 7-80090-944-1

I. 引… II. 梁… III. ①防沙工程-研究②河道演变-研究 IV. TV14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 00901 号

引水防沙与河床演变

梁志勇 徐永年 罗福安
刘玉忠 李 明 编著

*

中国建材工业出版社出版 (北京海淀区三里河路 11 号)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中央民族大学印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15.25 字数: 373 千字

2000 年 1 月第一版 2000 年 1 月第一次印刷

印数: 1—1500 册 定价: 38.00 元

ISBN 7-80090-944-1/TV·3

前 言

河流两岸自古以来就是人类繁衍生息之所，人类的生存延续离不开引水用水。引水工程的出现是社会进步与经济发达的产物，引水防沙工程学的诞生则是科学进步与时代发展的象征。

天然河流给我们带来了丰富的水利资源，同时也带来了大量泥沙，引起河流的千变万化。引水工程要求既要能够取到足够水量，又要能够防止引入泥沙，就是既要引水，又要防沙，引水与防沙构成了引水防沙工程的矛盾统一体。泥沙在运动，河流在变化，引水工程的兴建还会改变这种运动和变化，运动是相对的，变化是绝对的。引水防沙与河床演变就是研究引水与防沙这一矛盾统一体的变化情况及其与河床演变的关系。

本书以泥沙运动与河床演变的一般知识为基础，阐述了引水防沙工程设计中从选址与布置到具体防沙设施考虑的各个重要环节，总结了已有典型引水防沙工程的治理经验，分析了引水工程兴建后渠首工程附近及上下游河流的河床演变情况，介绍了研究引水防沙工程的数学模型计算与实体模型试验两大方法，力图给水电站、火电站与核电站以及灌溉等引水工程的科研设计人员提供一个解决引水与防沙这一对矛盾的途径。

本书系集体创作，其中第一章由梁志勇、罗福安、徐永年执笔，第二、三、四、八、十章由梁志勇、刘玉忠、李明执笔，第五、七、九章由徐永年、罗福安执笔，第六章由罗福安、徐永年执笔，全书由梁志勇、徐永年统稿。

本书的编著一方面总结了作者的研究成果，另一方面也参阅了国内外大量有关文献，在此向所有参考文献著者表示衷心的感谢。

本书的创作与出版得到了中国水利水电科学研究院泥沙研究所山地灾害研究室、北京沃尔德防灾技术有限公司和《泥沙研究》编辑部全体成员的大力支持，在此深表谢意。

引水防沙与河床演变是以泥沙运动力学为基础的一门工程学科，涉及到各种引水工程的防沙问题及其与河床演变的相互关系，在很多方面的研究还不够成熟，随着学科的进步和工程技术的发展还会得到不断的丰富和完善。另外，本书在章节安排、材料取舍、内容阐述等方面一定会存在不少谬误之处，恳请读者批评指正。

作者 于北京

1999年5月

1430/07

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
1.1 引水防沙的意义	(1)
1.1.1 引水工程中的泥沙问题	(1)
1.1.2 解决泥沙问题的重要性	(2)
1.2 引水防沙工程的发展	(4)
1.2.1 引水防沙工程的分类	(4)
1.2.2 引水防沙工程的沿革	(7)
1.2.3 引水工程的前景	(7)
1.3 引水防沙的设计与研究途径	(8)
1.3.1 泥沙问题分析步骤	(8)
1.3.2 本书的构思与章节安排	(9)
参考文献	(11)
第二章 泥沙运动特性	(12)
2.1 河流泥沙特性	(12)
2.1.1 河流基本特征	(12)
2.1.2 泥沙特性	(13)
2.1.3 推移质与悬移质	(15)
2.2 推移质	(16)
2.2.1 泥沙起动	(16)
2.2.2 推移质运动	(18)
2.2.3 推移质输沙率公式	(20)
2.3 悬移质	(22)
2.3.1 理论分析	(22)
2.3.2 垂向分布	(25)
2.3.3 横向分布	(27)
参考文献	(29)
第三章 河床演变特性	(30)
3.1 水沙搭配与河道形态	(30)
3.1.1 水沙搭配与造床流量	(30)
3.1.2 来水来沙的影响	(31)
3.1.3 河型分类	(32)
3.2 山区河流的河床演变	(33)
3.2.1 水沙特征	(33)
3.2.2 几何形态	(34)

3.2.3 河床演变	(34)
3.3 平原河流的河床演变	(36)
3.3.1 顺直型河流的河床演变	(36)
3.3.2 分汊型河流的河床演变	(38)
3.3.3 弯曲型河流的河床演变	(38)
3.3.4 游荡型河流的河床演变	(41)
3.4 主流摆动与河床稳定性	(42)
3.4.1 冲积河流的主流摆动现象	(42)
3.4.2 主流摆动与坍岸速率	(44)
参考文献	(50)
第四章 引水工程选址与布置	(52)
4.1 引水工程选址中的泥沙问题	(52)
4.1.1 河流水沙特性	(52)
4.1.2 河床稳定性	(53)
4.2 引水工程的选址与泥沙考虑	(53)
4.2.1 引水工程在河流上的位置	(54)
4.2.2 泥沙问题的考虑	(55)
4.2.3 侧面引水与正面引水	(56)
4.3 引水工程泥沙问题研究方法	(57)
4.3.1 类比分析与调查	(57)
4.3.2 初步分析估算	(57)
4.3.3 河工模型试验	(57)
4.3.4 数学模型计算	(58)
参考文献	(58)
第五章 防沙和排沙的理论与设计	(59)
5.1 引水口水沙运动特性	(59)
5.1.1 引水口前的流速场	(59)
5.1.2 引水宽度	(62)
5.1.3 推移质分沙比与分流比的关系	(65)
5.1.4 悬移质分沙比与分流比的关系	(66)
5.2 弯道引水防沙工程的设计	(67)
5.2.1 人工引水弯道	(67)
5.2.2 人工弯道断面设计的一般方法	(68)
5.3 导流装置	(69)
5.3.1 波达波夫理论	(69)
5.3.2 奥加德(A. J. Odgaard)等方法	(71)
5.3.3 张德茹、梁志勇等的研究与应用	(73)
5.4 环流冲沙槽	(77)
5.4.1 环流冲沙槽的工作原理	(77)
5.4.2 环流冲沙槽各部位的功能布置要求	(77)

5.5	涡管与截沙槽排沙	(79)
5.5.1	涡管与截沙槽排沙简述	(79)
5.5.2	螺旋流排沙机理	(80)
5.5.3	涡管内的流速分布	(80)
5.5.4	涡管流量与分流比	(81)
5.5.5	涡管排沙	(82)
5.5.6	设计方法	(84)
5.6	环流排沙漏斗	(85)
5.6.1	环流排沙漏斗的发展	(85)
5.6.2	环流排沙漏斗流场分析	(86)
5.6.3	环流排沙漏斗的有关特性	(88)
5.6.4	应用	(89)
5.7	沉沙池	(89)
5.7.1	概述	(89)
5.7.2	定期冲洗沉沙池的种类	(89)
5.7.3	定期冲洗沉沙池的结构	(90)
5.7.4	定期冲洗沉沙池的应用	(90)
5.7.5	连续冲洗沉沙池的工作方法	(91)
5.7.6	水电站斜板沉沙池的研究	(92)
	参考文献	(96)
第六章	典型工程治理经验	(98)
6.1	无坝引水工程	(98)
6.1.1	芍陂	(98)
6.1.2	漳水十二渠	(98)
6.1.3	都江堰引水工程	(98)
6.1.4	郑国渠和白渠	(105)
6.1.5	秦渠、汉渠和唐徕渠	(106)
6.1.6	后套灌区	(106)
6.1.7	灵渠	(110)
6.1.8	滦河岩山渠首	(113)
6.1.9	人民胜利渠	(114)
6.1.10	打渔张引黄渠首	(115)
6.1.11	富拉尔基电厂引水江道的治理	(117)
6.2	低坝引水工程	(118)
6.2.1	沉沙冲沙槽式渠首	(118)
6.2.2	人工弯道式渠首	(121)
6.2.3	分层引水式渠首	(128)
6.2.4	底栏栅式渠首	(129)
6.3	闸坝引水工程	(133)
6.3.1	三盛公引水枢纽	(133)

6.3.2	南桡河二级(石棉)电站	(135)
6.3.3	映秀湾水电站	(136)
6.3.4	渔子溪水电站(一级)	(138)
6.3.5	逊科西水电站	(140)
6.3.6	天生桥二级水电站	(140)
6.3.7	大寨水电站	(148)
6.3.8	太平驿水电站	(149)
6.4	双坝引水工程	(151)
	参考文献	(152)
第七章	灌溉引水工程附近与下游的河床演变	(154)
7.1	有坝引水工程下游的河床演变	(155)
7.1.1	下游河道的冲刷与淤积	(155)
7.1.2	下游淤积量的估算	(156)
7.2	无坝引水工程附近河床演变	(158)
7.2.1	水沙运动特性	(158)
7.2.2	引水口附近河床的冲刷与淤积	(161)
7.3	多口引水分流的河床演变	(162)
7.3.1	引水分流对河床冲淤影响的分析	(162)
7.3.2	引黄与黄河冲淤关系的研究概况	(164)
7.4	引水工程对河口的影响	(165)
	参考文献	(168)
第八章	水电枢纽上下游的河床演变	(169)
8.1	水库淤积及其控制	(169)
8.1.1	水库淤积的纵剖面形态	(170)
8.1.2	水库的淤积控制与冲刷	(174)
8.2	水电枢纽下游的河床演变特性	(177)
8.2.1	水沙过程的变化	(177)
8.2.2	河床冲淤变化	(178)
8.3	下游河槽几何形态调整	(181)
8.3.1	来水来沙塑造断面形态	(181)
8.3.2	纵比降的变化	(184)
8.4	一些水电枢纽下游的河床演变	(186)
8.4.1	低水头水电枢纽下游的河床演变	(186)
8.4.2	水库群水电枢纽下游的河床演变	(188)
8.4.3	一些水库下游的冲刷情况统计	(191)
8.4.4	某些水电枢纽对河口的影响	(191)
	参考文献	(193)
第九章	河工模型及原型观测	(194)
9.1	相似理论	(194)
9.1.1	相似原理	(194)

9.1.2	河工模型的一般原理	(195)
9.2	定床河工模型试验	(195)
9.2.1	定床河工模型的相似条件	(195)
9.2.2	定床河工模型设计的几个限制	(196)
9.3	动床河工模型相似理论	(199)
9.3.1	基本方程式	(199)
9.3.2	全沙模型相似律	(199)
9.4	模型沙的特性	(201)
9.4.1	床面起动流速	(201)
9.4.2	坡面起动流速	(202)
9.4.3	模型沙的水下休止角	(202)
9.5	几何变态与边坡相似问题	(204)
9.5.1	重力相似问题	(205)
9.5.2	阻力相似问题	(205)
9.5.3	水下边坡相似	(206)
9.5.4	变率的选择	(206)
9.6	变粒径比尺方法	(207)
9.6.1	变粒径比尺法	(207)
9.6.2	变粒径比尺法设计的原理	(208)
9.6.3	变粒径比尺设计的步骤	(210)
9.6.4	模型试验实例	(210)
9.7	原型观测实例——水电站泥沙观测	(211)
9.7.1	水库泥沙观测	(211)
9.7.2	坝区枢纽泥沙观测	(212)
9.7.3	厂房枢纽泥沙观测	(212)
	参考文献	(213)
第十章	数学模型	(214)
10.1	解析模型	(214)
10.1.1	控制方程	(215)
10.1.2	溯源冲刷与溯源淤积的物理图景	(216)
10.1.3	解析解及其分析	(217)
10.2	一维数值模型	(218)
10.2.1	概述	(218)
10.2.2	典型一维数学模型介绍	(221)
10.3	平面二维与三维数值模型简介	(224)
10.3.1	平面二维数值模型	(224)
10.3.2	三维数值模型介绍	(225)
10.4	有关问题的处理	(227)
10.4.1	数学模型的验证与预报	(227)
10.4.2	恢复饱和系数	(227)

10.4.3 冲刷与淤积.....	(231)
10.5 复合模型及数值模型的展望.....	(232)
10.5.1 复合模型.....	(232)
10.5.2 计算机发展趋势.....	(232)
参考文献.....	(232)

第一章 绪 论

1.1 引水防沙的意义

1.1.1 引水工程中的泥沙问题

天然河流是人类赖以生存的重要水利资源，随着社会和经济的发展，在河流上兴建的各种引水工程数量在不断增加，引水的质量和用水效率也受到广泛重视。天然河流中或多或少地携带着泥沙，直接影响引水的质量和数量，从而对灌溉、水电站、火电站等引水工程的正常运行构成威胁。如灌溉引水口前的泥沙淤积也会降低引水效率，造成大量泥沙进入渠道，使灌溉渠道淤积加重，增加清淤工作的难度；水电站引水口的淤积会使通过水轮机的含沙量增大或泥沙粒径变粗，造成水轮机叶片的严重磨损，以致于停机检修；火电站引水口前的淤积不仅会降低引水效率，甚至将口门堵死而取不到水，同时也会引起流道系统的堵塞与磨损问题等等。以水电站为例，引水工程中可能出现的泥沙问题可以归结为表 1-1 和图 1-1 所示，表 1-2 列出了容易发生泥沙问题的一些条件。

表 1-1 引水工程中的泥沙问题

序 号	问 题	图 1-1 中标号
1	进口前池或引水口前泥沙淤积问题	①
2	进口拦污栅的泥沙问题	②
3	坝区泥沙淤积与河势变化问题	③
4	引水渠的泥沙淤积问题	④
5	清淤引起的环境问题	⑤
6	输水管道、输水设备和水轮机的泥沙磨损问题	⑥
7	引水工程上游河床演变及其影响	⑦
8	引水工程下游河床演变及其影响	⑧

表 1-2 易出现泥沙问题的几种条件

序 号	情 况
1	山溪性河流
2	主流易摆动的宽浅河流
3	河流坡度较陡
4	河岸不稳定
5	推移质输沙量大
6	来水含沙量较高
7	悬移质输沙量较大
8	输沙量变化幅度大

1.1.2 解决泥沙问题的重要性

引水工程中泥沙问题处理的好坏直接关系到引水工程的使用寿命和运行效益。下面就灌溉、水电站和火电站引水工程中可能出现的泥沙问题的严重性作一阐述。

1.1.2.1 灌溉引水工程防沙的重要性

1.1.2.1.1 引水渠及河道淤积

从河流中引水分流意味着将原来河流的来水来沙引出一部分进行利用，结果引水后使引水口下游原来河道水流的流量减少，输沙能力降低，其输沙能力与引水渠道的输沙能力加在一起通常仍然要比原来的河流输沙能力小，因而在原来河道和引水渠道内都可能发生泥沙淤积。因此在引水工程的设计过程中，一方面要处理好灌渠的引水防沙问题，另一方面也要注意对主河道可能造成的不利影响。

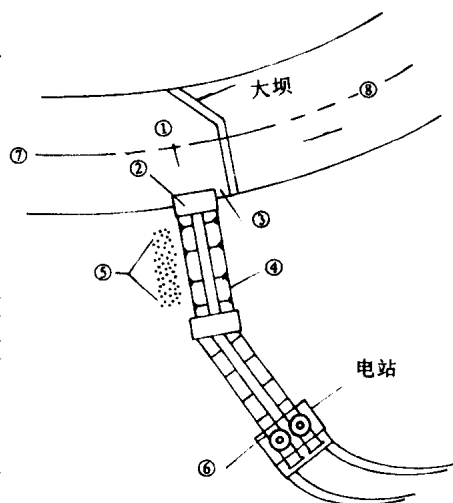


图 1-1 引水工程中的泥沙问题

1.1.2.1.2 引水口脱溜

无坝引水工程引水口位置的选择十分重要。当引水口位置不当，或者河势十分复杂的情况下，河道主流位置的变迁使引水口偏离主流，造成引水困难或者进沙量偏大的例子屡见不鲜。黄河上的人民胜利渠是 1950 年以来，在黄河下游兴建的第一个引黄灌溉工程。由于黄河下游主流摆动频繁，造成口门和引渠淤死，甚至造成开闸引水灌溉结束后，也不敢关闸停水的现象。使得该无坝引水工程自建闸以来，引水口门数迁，并不得不采取了很多措施，以防止引水口门和引渠发生淤积。

1.1.2.1.3 引水枢纽对河道的的影响

60 年代初期，曾分别在黄河下游花园口和位山兴建了拦河引水工程。引水工程建成后，河段虽然增加了灌溉引水量并减少了入渠泥沙量，但工程上游受壅水影响而淤积严重，而且在拦河闸全开敞泄的情况下，关键河段的水位仍未有显著下降，从而使河道的泄洪能力降低而不得不破坝毁闸，拆掉已建成的工程。这两座灌溉引水工程在规划和设计时，对在含沙量较高的黄河下游兴建工程后壅水的影响等考虑不足。下面以位山拦河工程为例进行说明^[1]。

位山枢纽位于黄河下游中部。规划中的位山枢纽具有灌溉、分洪、航运、发电等综合效益。在位山枢纽建设中，以弯道引水防沙为主要原则布置枢纽附近拦河闸等主要建筑物。拦河闸 16 孔，每孔过水净宽 10m，闸底槛高程为 36m，相当于枯水河床的高程，但坝址处原河道宽达 360m，洪水河床高程仅 32m，因此势必产生很高的卡水，在宣泄设计流量 ($6000 \text{ m}^3/\text{s}$) 时预计上游水位壅高达 1.6m。

位山枢纽附近河床比降平缓，建库前水沙特征如下：年水量 479.8 亿 m^3 ，年平均流量 $1521 \text{ m}^3/\text{s}$ ，年输沙量 14.06 亿 t，年平均含沙量 $29.26 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。位山枢纽建成后，引起了上下游河道的一系列变化。

(1) 拦河枢纽改变了位山河段的冲淤特性

从图 1-2 可以看出，建闸后河道变得易淤难冲：建库前后河道发生冲刷的来沙系数 S/Q (S 为含沙量， Q 为流量) 分别为小于 0.01 和小于 0.005；而发生淤积的来沙系数则分别由建闸前的大于 0.015 下降至 0.007。河段冲淤皆有的来沙系数由建闸前的 0.01 到 0.015 变为 0.005 到 0.007，不但范围缩小，而且要求来水的含沙浓度低得多。这都说明由于枢纽拦河闸

的影响，显著地改变了位山河段的固有冲淤特性。

(2) 枢纽上游河段淤积严重

位山枢纽的运用从 1960 年 5 月 22 日至 1961 年 4 月 11 日为壅水运用期，因上游河道淤积严重，1961 年 4 月至 1963 年 11 月 14 日改为拦河闸全开敞泄期，1963 年 11 月 14 至 1964 年 10 月 24 日为破除拦河土坝、恢复原来的自由河道时期。

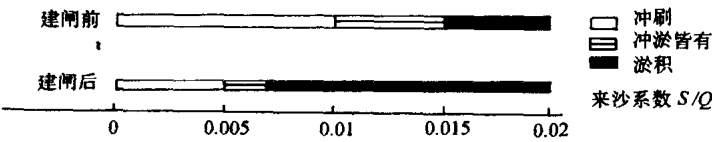


图 1-2 引水工程修建前后河段冲淤特性的变化

位山枢纽只经过一年的壅水运用，发现淤积严重之后，便在 1961 年起变为敞泄运用。经过两年多的敞泄冲刷，库区上游沿程的水位有不同程度的回落，但壅水区上段孙口以下各站水位同建库前相比，尤其在较大流量时仍有较大幅度的抬高，孙口站不同流量下的水位升高值如图 1-3 所示。

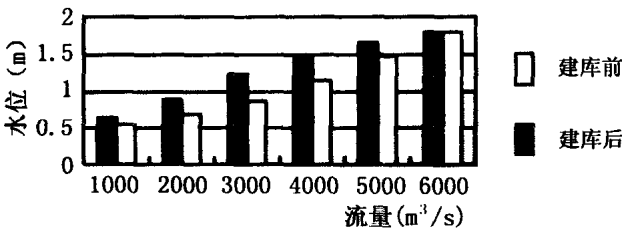


图 1-3 水位变化

1.1.2.1.4 汛期引水

一般情况下灌渠应避免汛期引用含沙量较高的水流，然而在有些情况下，往往不得不引用汛期的含沙量较高的水流进行灌溉。这将有可能使整个灌渠在一个引水季节被泥沙淤废，使清淤费用更高。在高含沙水流情况下，可采用集中引水、用水的措施，以避免泥沙淤积^[2]。

1.1.2.2 水电站引水防沙的重要性

水电站引水口可能出现的泥沙问题有枢纽附近坝区淤积，河势不稳定与深泓线变化影响电站引水；泥沙磨损水轮机过流部件、降低出力，甚至破坏机组正常运转；停机检修时，泥沙、水草淤堵引水口，影响重新开机等；而最常见的是泥沙对水轮机的磨损问题。

磨损现象存在于水轮机设备的不同部位。水流流速较高时，混流式机组的固定导叶和活动导叶、射流泵均有磨损，磨损加重后甚至使机组顶盖密封受到的压力增大或空隙增大导致密封失效；冲击式水轮机的磨损往往发生在水斗和喷针端部。

与水电站有关的泥沙问题还有，水库淤积及淤积末端上延问题，坝下游河床演变问题，通航河流水库变动回水区河床冲淤变化问题以及坝上下游引航道淤积问题等。

1.1.2.2.1 泥沙磨损

泥沙磨损带来的损失是严重的。如映秀湾水电站运行 7404 小时后，2 号机于 1976 年初大修。该机转轮下止漏环上段间隙因磨损增大 0.35mm；面上鱼鳞坑的方向角实测约为 40°。叶片正面，靠下环侧宽百余毫米的母材上有鱼鳞坑，坑深约 0.2mm；靠下环及泄水边区域，鱼鳞坑深约 0.5mm；在泄水边缘上，坑深达 1~2mm。叶片背面，大面积母材上有沿流线方向

的分布整齐的鱼鳞坑，深约 0.5~1mm，磨损面积比叶片正面大。下环内侧下部分布众多的鱼鳞坑，深约 1~3mm。在最下边的母材上全是鱼鳞坑，深约 2~4mm，个别达 6~7mm。1 号机也由于磨损使水轮机的平均运行效率下降了约 0.8%^[3]。

在北方多沙河流上泥沙磨损问题更加严重。据统计，黄河上的盐锅峡水电站因泥沙磨损而造成的机组效率降低约为 2%~5%^[4]。

1.1.2.2.2 上游淤积和下游冲刷

水电站的兴建一般会引起上下游两方面的问题：一是上游河段的淤积问题；二是下游河段的冲刷问题或上段冲下段淤问题。上游河段的淤积不仅降低了水电站的综合效益（如防洪效益），影响本河段的工农业设施，而且还将直接影响水电站的引水发电。下游河段的冲刷则可能对沿岸的工农业设施（如沿岸原有的引水口，桥墩基础等）产生一定影响，甚至影响河流的演变（如对险工、护岸等河流控导工程的影响）。

1.1.2.3 水电站引水防沙的重要性

美国衣阿华洲德内恩·阿诺德（Dnane Arnold）能源中心电厂的引水口位于某河河岸一侧，如图 1-4 所示^[5]。引水流量为 0.7m³/s，用于电厂冷却系统。引水口处通常河流流速为 0.5m/s 左右，引水流速为 0.04m/s。引水口自从 1972 年启用以来，电厂的泥沙问题不断。其中重要的原因是引水口处的河势变化频繁，泥沙淤积严重，使大量泥沙进入冷却系统，给正常运行和维护带来麻烦。与此同时，泥沙在引水口前形成淤积，闸门多次被堵塞，电厂不得不停止运行。另外，在小流量时，引水口下游一侧附近出现沙埂，而且沙埂还向引水口淤积延伸，甚至阻塞引水口。1989 年 11 月 8 日所进行的测量表明，引水口前泥沙淤积已经超过进水底坎 1m 以上，如图 1-4（a）所示。图 1-4（b）为修建导流屏后的河道地形图。

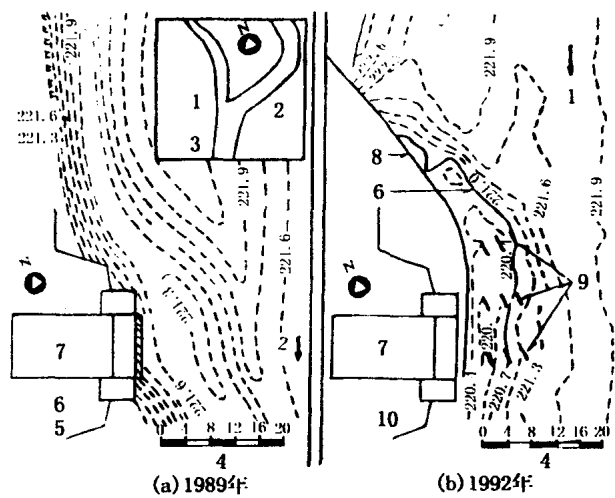


图 1-4 河势变化引起的泥沙淤积问题

1—电厂位置 2—西达河 3—引水口 4—比例 (m) 5—1989 年 11 月
6—引水口底槛高程 220.7m 7—引水口建筑物 8—钢板桩 9—导流屏 10—1992 年 10 月

1.2 引水防沙工程的发展

1.2.1 引水防沙工程的分类

引水防沙工程分三大类：一是无坝引水防沙工程；二是有坝引水防沙工程；三是活坝类

引水防沙工程。本书主要考虑前两类。

1.2.1.1 无坝引水防沙工程

在古代和近代,无坝引水工程分布极广。中外闻名的都江堰(参见封底照片),是取岷江水灌溉成都平原及其相邻地区的引水工程,是两千多年前秦国蜀守李冰在原来蜀国引水工程的基础上建造的。岷江是一条推移质量大、泥沙粒径粗的河流,泥沙的处理是都江堰工程成败兴废的关键。都江堰工程不仅能够引水和防洪,而且其引水与防沙的矛盾也解决的非常出色,堪称世界水利史上的奇迹。

我国黄河上、中游曾有一些历史上著名的无坝引水工程,如内蒙古河套灌区在未建三盛公枢纽之前的丰复渠、永济渠、解放闸、义长渠等无坝引水渠首,宁夏在未建青铜峡枢纽之前的唐渠和秦渠、汉渠等无坝渠首。黄河下游豫、鲁两省在解放后发展的引黄灌区大部分为无坝引水工程。新疆自50年代至60年代初期,在年径流量超过10到20亿 m^3 的中型以上河流上,先后修建胜利渠等大、中型无坝引水渠首几十座。在无坝引水渠首中,还有一种无坝半拦河渠首。新疆解放后,在南疆中型以上较大河流上建成这类无坝半拦河渠首有:喀什地区克孜河上的阿瓦担引水渠首;阿克苏地区阿克苏河上的艾西里引水渠首等。国外如苏联、印度、埃及等灌溉农业发达国家,过去无坝引水在总灌溉面积中占有一定比重。如60年代,前苏联在中亚阿姆河上还有引水流量分别为130与200 m^3/s 的无坝渠首。

1.2.1.1 有坝引水防沙工程

1.2.1.1.1 低坝沉沙冲沙槽式引水防沙工程

该种引水防沙工程起源于印、巴次大陆,尤其是印度河与恒河流域。因此,又称为印度式引水防沙工程。世界上应用较广泛,曾推广到中东、近东、美国、日本、前苏联。我国自本世纪30年代以来建了不少这种工程。解放后,在我国南方和北方一些省区修建灌溉、发电等引水枢纽时,仍有很多采用这种型式。旧印度式引水枢纽一般都用溢流低坝拦河壅水,在岸侧引水口前沿用隔水墙将引水与冲沙泄水的水道与泄洪水道相分隔,在进水闸前形成沉沙冲沙槽。一般将冲沙闸布置在冲沙槽的正向,而将进水闸布置在它的横向。这种形式的引水工程适应范围较广,中游有沙砾石河床的河段宜采用此种布置形式。若推移质较细,呈沙浪运动时,则其防沙效果较差。

为了解决旧印度式渠首分沙比过大的矛盾,国内外出现了一批改良印度式低坝引水枢纽。它们主要有以下几种型式:①将进水闸进水型式,由横向布置改变为斜向的进水布置,如印度那洛拉引水枢纽和伊朗莫汉渠引水枢纽。②将低坝河床式冲沙槽改为低坝引渠式冲沙槽,简称低坝引渠式渠首,如我国陕西洛惠渠渠首;国外如日本的伊山引水枢纽。③在枢纽进水闸底板前沿布设冲沙廊道;或在干渠渠首段布设引渠式截沙冲沙廊道或引渠式截沙冲沙槽。印度柯西堰引水枢纽除了在进水闸前方的冲沙槽底板布设渠首冲沙廊道外,还在干渠渠首段布设了引渠式截沙冲沙廊道。④在河床冲沙槽中布设潜没式导沙坎与分水墙,如陕西省渭惠渠渠首改建工程。实际上改良印度式渠首,绝大部分出现在二次大战后的世界技术革命高潮中,它们已由近代引水型式转化为现代型引水防沙枢纽。

1.2.1.1.2 闸坝式引水防沙工程

这种型式引水工程是用拦河闸代替印度式的溢流低坝。由拦河闸控制河流,操作灵活,适用于各类河流的稳定河段,尤其在河流的下游平原河段和沿海地区的入海河段应用较广泛。利用拦河闸壅水、泄洪,比溢流低坝优越性显著,基本上可以不改变或少改变河床的原来流态与冲淤特性;而溢流低坝当坝前被泥沙淤平后,常使主流摆动、河床不稳。拦河闸在枯水期

可控制运行,以保证引水和泄水排沙;在洪水期可敞开闸门,宣泄洪水,冲刷闸前或库区淤沙。拦河闸两侧或单侧的引水建筑物或防沙冲沙设施布置,一般与低坝引水枢纽相类似。由于闸坝式引水枢纽具有以上优点,它在国内外大、中型平原河流上,甚至大、中型山区河流上,应用较广。50年代前后,原苏联在捷列克河上建成了卡尔加宁引水防沙工程和在庫班河上建成了涅文诺麦斯克引水防沙工程,我国于60年代在黄河上游建成了青铜峡、三盛公等闸坝式引水防沙工程;在山区河流水电站首部枢纽中采用这种引水型式的,有西南地区的映秀湾、渔子溪、南桠河、西洱河、大寨等枢纽;在内陆冲积平原游荡型河道上采用这种引水型式的有新疆塔里木拦河闸等。

1.2.1.1.3 弯道式引水防沙工程

这种引水工程人为地形成弯曲水流,产生横向环流,达到凹岸引水凸岸排沙的目的。主要适用于砾卵石河床,比降大,流速急,流量变幅小的山溪性河流。

世界上第一座人工弯道式引水枢纽,在1941年修建于前苏联中亚锡尔河支流卡拉河从山区流入费尔干纳盆地的出口处,名为卡姆普尔拉瓦特引水枢纽(引水流量 $230\text{m}^3/\text{s}$,泄流冲沙流量 $1400\text{m}^3/\text{s}$)。

新疆山溪性急流河道酷似天山彼侧的前苏联中亚地区河流。50年代初期,在天山北麓的乌鲁木齐河及八音沟河上曾先后修过印度式引水枢纽,但几场洪水就使溢流低坝前面的河床淤积严重,使主流摆动、不稳定,干渠进沙严重。事实证明旧印度式渠首不能胜任推移质急流河道的引水排沙任务。50年代后期,经当时在新疆工作的前苏联水利专家介绍,在新疆较大山溪性河流上改用人工弯道式渠首引水,并在新疆得到大量推广。新疆第一批人工弯道式渠首采用前苏联费尔干式经验,如乌鲁木齐河上游青年渠渠首、玛纳斯河红山咀渠首等。这些渠首在人工弯道设计上采用 $5\%\sim 10\%$ 过高的洪水频率和过宽的弯道,致使在一般年份洪水期,弯道水流分散、水深过浅,形不成横向环流或环流作用很差,导致弯道排沙不佳,干渠进沙严重。

通过对第一代弯道式渠首成功经验和失败教训进行总结研究,我国水利专家提出将泄洪水道与兴利水道从原来共用的上游引水弯道中分开,在弯道喇叭口的外侧另设宣泄比较稀遇洪水的上游泄洪闸。这样,弯道就可按每年常遇洪水流量设计,从而保证了在进水口前沿产生强烈的横向环流,以达到弯道式引水枢纽“正面进水、侧面排沙”的预期目的。

1.2.1.1.4 底栏栅式引水防沙工程

在拦河坝顶布设栏栅,防止砾卵石进入坝内廊道,适用于山溪性卵石河道,小于栏栅栅隙的沙粒不超过来沙总量的 25% 。该种引水防沙工程最早起源于欧洲奥地利境内的阿尔卑斯山麓地区,因第一座工程位于奇楼尔,在国外曾称为奇楼尔式引水防沙工程,后来,前苏联在高加索小型山溪性河流上推广,所以,前苏联称为高加索式防沙工程。我国50年代在新疆吐鲁番地区引进,先在鄯县柯柯亚尔渠首,吐鲁番县人民渠首,建成了该型引水防沙工程。以后,这种引水型式在新疆南、北疆中、小型急流推移质河道上大量应用;并进一步在陕西、甘肃、湖北、福建等省推广。

1.2.1.1.5 分层式引水防沙工程

该种引水防沙工程起源于前苏联中亚,国外称中亚式引水防沙工程或特洛依茨基式引水防沙工程。我国于60年代在新疆引入,建成了皮山县桑株河渠首悬板分层式引水防沙工程。后来,又在和田、墨玉两县的喀拉喀什河上建成了悬板分层式引水防沙工程。

1.2.2 引水防沙工程的沿革

世界上引水工程的发展始于农业灌溉。几千年前,劳动人民在同水旱灾害斗争中,逐步建立起引水灌溉体系。如古埃及的尼罗河流域,南亚的印度河与恒河流域,我国西北、西南等地区的郑国渠、都江堰、秦渠、汉渠等。这些引水工程的修建,不仅对当时的农业发展起了推动作用,而且积累了丰富的实践经验,其中有不少渠首工程的布置是符合近代科学原理的。

随着社会的发展、城镇的兴起和人口的增加,引水工程也逐步由单一的灌溉引水向水力发电、火力发电引水、生活引水及其它工业引水或综合利用方向发展。特别是现代科学技术的不断发展,使得引水工程不仅在数量上,而且在结构和布置方面以及引水与防沙功能方面都得到了长足的进步,布置形式由无坝引水向各种有坝引水工程发展。

古代的引水防沙工程,模式结构简单,型式少,引水防沙效率较低。但其中也不乏如四川都江堰等符合科学引水防沙原理的巨作。近代引水防沙工程分为两个类型:一是无坝引水防沙工程。不建拦河壅水的闸坝,工程比较简单,不改变河道的冲淤形态及降低河道的防洪能力,缺点是渠道的引水比较小,引水水位不能提高,为了提高引水能力,不得不把进水闸底板降低,因此,引沙增多。二是有坝引水防沙工程。建有拦河壅水闸坝,以控制河道的径流量,增加渠道的引水比。同时,还能提高河道水位,达到提高引水高程,扩大灌溉面积的目的。缺点是因建拦河坝,改变了河道的河势,闸坝上游产生泥沙淤积,使引水沙量增大,并影响河道的防洪。近些年来引水防沙工程模式,在无坝和有坝引水防沙工程两大类型中,派生出许多分支,并对这些分支进行了技术改进。如低坝沉沙冲沙槽式和闸坝式利用冲沙闸与闸前的沉沙冲沙槽定期冲沙;弯道式利用整治河流上游段人工弯道,造成横向环流,达到“正面引水,侧向排沙”的目的;底栏栅式利用堰上栏栅及堰内廊道引水排沙;分层式利用进水及冲沙闸前的悬隔板以分层导流和排沙;弯道式利用进水弯道横向环流凹岸建引水闸及挡沙导流坎引水排沙;导流堤式利用导流堤和冲沙闸引水排沙;多首式以增加渠首工程单元达到提高引水防沙效果的目的等。上述技术改进增强了对山丘、平原等各类河道引水防沙条件的适应性,但是有些工程在引水防沙功能方面尚存在许多弊端,有些甚至是致命性的弊端。60年代以来,还出现了橡胶坝等活坝类引水工程。

1.2.3 引水工程的前景

随着工业发展和城镇的兴起,引水工程也从单一的灌溉用水发展到水力发电、火电、核电以及城市其它工业和生活供水等综合利用。引水工程的作用主要是满足日益增长的工农业及日常生活用水需求,如农业灌溉,水电、火电与核电,工业及城镇居民生活用水等。

随着经济繁荣和人口增长,世界范围内的需水量每20年翻一番。而单纯依靠地下水和直接依赖未经调节的地表水早已无法满足日益增长的用水需求。因此各种各样的引水工程也得到迅速发展。

1.2.3.1 灌溉引水

世界上许多国家,农业由于缺水,尤其是在干旱年份,将会遭受很大损失。甚至在降水丰沛的地区,在一年内的某些时期也存在缺水现象。全世界的土地灌溉面积如表1-3所示,其中总灌溉面积中约有五分之三集中在中国、印度、美国和前苏联。

从表1-3可以看出,世界范围内灌溉用水量都在日益增加。其中亚洲在100年中约增加9倍。